干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

新疆城镇化绿色发展时空分异及驱动因子探究

张军民[1]， 荣 城[1]， 马玉香[2]
（1. 广西师范大学环境与资源学院，广西 桂林 541000；2. 石河子大学理学院，新疆 石河子 832003）

摘 要：作为西部大开发重点和“一带一路”核心区，新疆城镇化具有鲜明的地域特色、地缘属性，科学诊断和识别城镇化绿色发展驱动因子，可为统筹边疆发展和安全格局提供实证依据。根据绿色发展和空间结构理论，用熵值法、地统计分析和探索性空间分析方法，基于ArcGIS空间分析平台，研究了2008—2018年新疆14个地州（市）城镇化绿色发展的时空分异格局。结果表明：（1）新疆城镇化绿色发展水平低、增长慢，空间依赖性和异质性较弱，以南、北疆差异为主体的核心-边缘分异显著，人口、经济、社会、生态城镇化发展不协调，陆桥、资源等本地化、内向性职能较突出，而口岸、通道等全球化、开放性等地缘职能不明显。（2）城镇人口规模及生态禀赋对城镇化绿色发展时空分异的作用大于经济增长，社会城镇化明显偏弱；但经济、社会功能增势明显，城镇化时空分异的均质性、同构化趋势渐强。（3）人均GDP是绿色发展时空分异的核心驱动，质量效益是推进新疆城镇化绿色发展的最重要动力；投资规模和效益、教育文化医疗建设是绿色发展的有效途径。而对外贸易、人口集聚、结构升级等功能弱、增长慢。应着力培育城镇化绿色发展新产能、新动力，积极参与全球及区域经贸合作，加快融入国内外双循环，提高基础设施和公共服务保障水平。

关 键 词：绿色发展；时空分异；驱动因子；地理探测器；南北疆
文章编号：

绿色发展是生态产业、循环经济的综合集成，是城镇化提质增效和高质量发展的实践模式，强调新型城镇化与生态环境互利共生，推进工业文明向生态文明转型升级，构建综合协调、均衡稳定的人地关系地域体系[1]。党的十八大明确了“绿色发展”基本国策，十九大开启了生态文明建设新时代，2020年提出构建“双循环”发展新格局，统筹发展与安全格局的绿色增长成为新型城镇化基本遵循。

城镇化是一个地域空间过程，即显示城市规模、形态空间拓展，也表征城市功能、作用动态演进，本质上是城市活动与支撑环境的耦合协调过程，是人地关系地域系统的空间表达，除内在（向）的人口、经济空间集聚外，还包括与背景环境的物质、能量、信息交换。当代工业化、城镇化快速发展加剧了环境问题和全球变化，使绿色发展成为可持续发展的核心议题和普遍共识[2-3]。自英国环境经济学家Pearce等[4]在《绿色经济蓝图》中提出绿色发展概念和模式后，城镇化绿色发展成为国内外学者广泛关注的时代课题，并开启了多学科交叉研究城市问题的全新领域。绿色发展概念及相关理论虽不断丰富但远未统一，多数研究从产业绿色发展层面开展绿色发展评价，从可持续发展视域探索社会经济与生态环境系统的协调性。如用生态系统学、环境经济学等理论界定绿色发展概念及相关原理，从产业经济活动与自然系统过程的依存关系来认识和评价绿色发展水平[5-6]；技术方法上注重用修正的投入产出分析、成本效益核算、结构分析模式等经典方法，来剖析绿色发展过程并解决绿色发展问题[7-8]；研究视角趋向多要素集成、多元化耦合，如绿色产业价值核算、绿色消费结构转型、绿色建筑发展模式、绿色产品创新驱动、绿色发展综合效益等[9-10]。国内研究以借鉴发达国家经验，解决中国现实问题

收稿日期：2021-04-03； **修订日期**：2021-06-25
基金项目：国家自然科学基金项目（41761030）；兵团社科项目（18ZD02）；广西社科基金（20FJY006）资助
作者简介：张军民（1964-），男，博士，主要从事城镇化与区域发展研究. E-mail: 1843479024@qq.com
通讯作者：马玉香（1979-），女，硕士，主要从事区域经济与可持续发展研究. E-mail: myxiang@shzu.edu.cn

为主，注重问题导向、政策引领及实证归纳，人文生态学、区域结构理论、新经济地理学、空间自组织等系统理论，及系统动力学、元胞自动机、时空GIS等空间分析方法得到广泛应用[11]，流动空间、均衡网络、空间信息系统等中国特色理论及方法，为解决不同尺度、层次、类型的城镇化地域问题提供了差别化研究框架。进入21世纪，快速城市化与全球变化交织融合，敏感区域城镇化的脆弱性及风险防范倍受关注，不同性质、状态及表征的时空分异受到重视[12–13]。如用绿色发展效率指数(Green development performance index, GDPI)评价城镇化发展状况及绩效[14–17]，基于能源与环境综合效率的RAM-DEA模型测算城镇化与绿色发展效率的相关性[18–19]；用探索性空间数据分析方法研究发达城市产业绿色发展的空间关联性[20]；用推拉理论、人口迁移理论、二元经济模式、核心–边缘理论和城市偏向理论、区域城市结构理论等经典理论，构建城市化与环境演化关系模型，开发了“S”曲线、对数或双对数曲线及脱钩理论、倒“U”型曲线等经验模型，用原理和模型解释了城市化绿色发展模式，其中OECD(Organization for economic co-operation and development)等开发的压力–状态–响应(Pressure-state-response，PSR)模型得到较广泛应用[21]。进入21世纪，随着城市病的不断加剧和漫延，基于“时–空结构论”、“时空地理学”、“元方法”等空间分析方法的城市化绿色评价成为国内外研究的焦点[22–23]。

新疆地理位置特殊、地缘功能重要，以资源富集地、国际化通道、欧亚大陆桥等职能奠定了其在国家发展和安全格局中的战略地位[24–25]。2014年以来，随着“一带一路”倡议的深入推进，国家开始着力解决新疆生态环境、基础设施、向南发展等空间均衡问题，启动了19省市对口援疆计划和《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》，赋予了新疆“一带一路”核心区地位，新疆新型城镇化上升到国家层面。朱兵等[26]较早关注到绿洲城市化的可持续发展问题；方创琳等、宋周莺等、赵文智等、王长建等也从不同侧面研究了绿洲城市发展和布局对资源供给、生态安全、格局稳定的影响，普遍认为绿洲城市化模式独特，其生态胁迫突出、环境反馈敏感、过程格局嬗变，城市化不仅造成流域资源分布、要素配置及景观格局的变化，而且引发生物、土壤、气象、水文等环境变化，绿洲过度开发和城镇无序扩张对绿洲系统稳定性产生了负面影响[27–32]。

综上所述，新疆城市化进程及驱动机制具有突出的地域特征。已有研究关注到干旱区城市化现实和潜在的可持续发展问题，重视城市化的自然、人文驱动因素及生态环境约束[33–34]，但多为单要素分析、因果关系解析，侧重单一城市及城市内部环境的微观分析，缺少宏观战略层面的定量研究。受自然区位条件和历史发展基础的影响，新疆城镇规模小、集聚能力弱、发展质量低、空间分布散，城镇体系功能不完善、布局不合理，城镇化处于分散发展的初级阶段，不适宜从单纯的产业或经济层面研究城镇化绿色发展，更不能用传统的要素和投资驱动、资源与环境约束模式来引导绿色发展，应在城镇化系统发展和综合平衡上打好基础，在发挥好区位地缘和资源环境优势上创新发展模式，从合理配置城镇化地缘功能和网络体系战略高度均衡绿色发展基础，通过完善城镇地域功能及其空间组织结构，优化和协调城市功能网络和空间格局，强化和提升新型城镇化在新疆社会稳定和长治久安中的战略枢纽、空间堡垒、集聚载体职能。因此，研究城镇化绿色发展时空分异与系统关联特征，探索绿色发展面临的系统性问题、结构性矛盾和功能性瓶颈，揭示新疆城镇体系均衡协调发展规律，对统筹边疆发展和安全格局具有重要的学术价值和现实意义。

1　研究区概况

受自然区位条件和发展基础的影响，新疆城镇化发展相对缓慢，突出表现在城镇化水平较低、城镇较小、集聚能力弱、发展质量低、空间分布散等方面，严重制约着新型城镇化绿色发展。2018年新疆国民生产总值1.22×10^{12}元，人均49475元，第一、二、三产业产值分别为1.69×10^{11}元、4.92×10^{11}元、5.58×10^{11}元。自治区下辖乌鲁木齐、克拉玛依等15个地(州、市)级行政区、105个县(市)级行政区、1076个乡镇，建成区总面积1312 km^2，城镇总人口1.26×10^7人，城镇人口密度2525 人·km^{-1}，城镇化率50.91%。最大城市乌鲁木齐人口2.22×10^6人，最小的阿拉山口市仅3.84×10^4人，城市平均人口3.37×10^5人，绝大部分城市人口少于5×10^5人，平均每个地州仅有一个地级市，缺少大城市和中等城市。总体上新疆城

镇化发展仍处于初级发展阶段，综合发展水平远远落后于东部发达地区。

新疆地处亚欧大陆中心，历来是亚欧大陆经贸联系的地缘枢纽和东西方文化交流的大动脉，已成为向西开放最繁忙的陆路通道。在全球化和一体化面临重大挑战的背景下统筹双循环驱动下的区域发展和安全格局，成为新疆新型城镇化绿色发展的战略基础。

2 数据与方法

2.1 数据分析与处理

2.1.1 分析单元及数据指标 地级行政单元是中国省级行政区划序列中相对稳定而又功能重要的区划单位，从20世纪末开始以"市管县"模式加快城镇化建设、21世纪初期以城市群为主体推动现代化进程，使其成为组织管理城乡经济发展和贯彻落实国家发展战略的主要行政单元，也是各地方城镇化的主体，以地州（市）为分析单元，可减少行政区域调整和城乡人口流动带来的不确定性。以新疆14个地州（市）为空间单元，从人口、经济、社会、生态4个维度，根据新疆城镇化特征并参照相关文献构建新疆城镇化水平综合评价指标体系。

2.1.2 数据来源与处理 本研究所涉及社会经济统计数据均来源于历年《中国统计年鉴》《中国县（市）统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《新疆统计年鉴》及相关调查普查、专题统计数据等，用熵值法对原始数据进行无量纲和标准化处理后计算指数。栅格、矢量、数字高程模型（DEM）等基础地理数据来自中科院资源环境科学数据中心（http://www.resdc，cn）、地理空间数据云（http://www.gscloud.cn）等数据库，基于ArcGIS+平台进行空间分析；用经典的地统计分析计算得到城镇化可持续发展水平，利用ArcGIS 10.6对统计分析结果进行专题分析及可视化展示，利用GeoDa对时空分异格局进行空间自相关分析检验。

2.2 研究方法

2.2.1 构建指标体系 传统研究多偏向用人口或经济属性来测度城镇化水平，绿色发展强调以人为本、综合协调。采用人口、经济、社会、生态等指标反映城镇化综合属性，城镇化率、人均国内生产总值（GDP）、人均投资等14个二级指标表征城镇化城镇体系功能（表1）。根据绿色发展内涵及地域特征，各维度指标均采用均值计算（人均）以表征城镇化绿色发展效率，用人均水资源、人均耕地资源表征生态维度，以突出绿洲城镇化区域特色。人口城镇化强调各地州人口规模及城镇化水平差异，经济城镇化突出各地州经济发展、工业化及人均水平差异，社会城镇化关注地方固定资产投资、社会消费和预算收入水平等差异，生态城镇化侧重各地州自然资本和生态禀赋差异；人口和经济城镇化是核心，社会和生态城镇化是基础，共同构成绿色发展能力。

2.2.2 熵值法计算权重 用极值法消除各指标量纲及属性差异，再计算其占比得到标准化指标。

表1 城镇化绿色发展评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of urbanization green development

目标层	准则层	指标	计算	单位	权重
空间分异	人口城镇化	地州人口密度（$X1$）	地州人口/全疆	%	0.062
		城镇人口密度（$X2$）	城镇人口/全疆城镇	%	0.074
		城镇化率（$X3$）	城镇人口/地州人口	%	0.041
		人口自然增长率（$X4$）	出生率-死亡率	%	0.100
	经济城镇化	人均GDP（$X5$）	GDP/地州人口	%	0.086
		二产占比（$X6$）	第二产业产值/GDP	%	0.043
		三产占比（$X7$）	第三产业产值/GDP	%	0.035
		人均进出口总值（$X8$）	进出口总额/城镇人口	10^4元·人$^{-1}$	0.103
	社会城镇化	人均固定资产投资（$X9$）	固定资产投资总额/城镇人口	10^4元·人$^{-1}$	0.067
		人均消费品零售总额（$X10$）	社会消费品零售总额/城镇人口	10^4元·人$^{-1}$	0.062
		人均受教育水平（$X11$）	受教育人数/城镇人口	%	0.059
		人均医疗水平（$X12$）	医疗技术人数/城镇人口	%	0.045
	生态禀赋	人均耕地面积（$X13$）	地州耕地面积/城镇人口	km^2·人$^{-1}$	0.154
		人均水资源（$X14$）	地州水资源总量/城镇人口	m^3·人$^{-1}$	0.070

$$Z_{ij}=\frac{X_{ij}-M_{\min}}{M_{\max}-M_{\min}} \tag{1}$$

$$P_{ij}=Z_{ij}\Big/\sum_{i=1}^{n}Z_{ij} \tag{2}$$

式中：Z_{ij}为第 i 个地州第 j 个指标 X_{ij}的无量纲化值；P_{ij}为其标准值；$M_{\min}$、$M_{\max}$分别为第 j 个指标的最小值和第 j 个指标的最大值。

熵值法是一种相对客观的多指标赋权法，适合对多元指标进行综合赋权。用熵值计算各指标信息熵并确定指标权重，某项指标信息熵越小其变异性或离散性越大，该指标作用就越大。

第 i 项指标的熵值：

$$e_i=-k\sum_{i-1}^{n}P_{ij}\ln P_{ij},\ k=1/\ln n \tag{3}$$

式中：e_i为第 i 项指标的熵值；$0\leqslant e_i\leqslant 1$；$k$ 为常数；n 为评价指标个数。

则第 i 项指标的信息熵(g_i)为：

$$g_i=1-e_i \tag{4}$$

第 i 项指标的权重(W_i)为：

$$W_i=g_i\Big/\sum_{i=1}^{n}g_i \tag{5}$$

2.2.3 城镇化发展水平 采用综合指标法计算各维度城镇化绿色发展水平。第 j 个地州 t 时间的城镇化绿色发展水平得分(S_{ij})为：

$$S_{ij}=\sum_{i=1}^{n}X_{ij}W_i \tag{6}$$

2.2.4 空间自相关分析 空间自相关性是由地理区位或邻接关系产生的空间依赖性和空间异质性表达，是对地域体系内各要素空间分布结构的统计学测度[35]。

全局莫兰指数(GISA)：

$$I=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}(x_i-\bar{x}_i)(x_j-\bar{x}_j)}{S^2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}} \tag{7}$$

式中：n 为要素个数；i、j 分别为要素的编号；W_{ij} 为 i 要素相当于 j 的权重；x_i、x_j为要素 i、j 的属性值；$\bar{x}_i$、$\bar{x}_j$ 分别为要素 i、j 的属性平均值；S^2 为所有要素权重的集合；I 为全局莫兰指数，是具有空间依赖的一组地理要素在研究区域内表现出的整体空间集聚、分散模式。

2.2.5 反距离权重差值分析 反距离权重差值是根据空间单元的距离来估算空间点群平滑值的一种方法，待差值点的取值可用周围若干距离内样点值的加权和来估算，其权重与两点间距离成反比。空间任一点 p 的差值的计算公式定义为：

$$P=\frac{\sum_{i}^{n}Z_i W_i}{\sum_{i}^{n}W_i} \tag{8}$$

式中：P 为待差值点 p 的取值；Z_i 为 p 点周围点的属性值；W_i 为周围点对 p 点的权重值；i=1, 2, 3 ⋯, n 为点群样本数。用ArcGIS空间分析中的反距离权重(IDW)分析方法，分别选择感兴趣属性为计算字段求得权重，输出栅格大小为100 km，将IDW的幂值设定为缺省值2，选择搜索半径类型为Variable，最后通过掩膜提取得到估算对象的差值结果。

2.2.6 地理探测器 地理探测器主要用于探测地理要素或地理现象的空间分层(分类)分异性特征及规律，以解决传统统计学无法完成的随尺度变化而产生的空间依赖性、异质性问题。它即可以度量空间结构的分层异质性，也可以探测空间分异格局，估计非线性空间因果关系。一般用 q 值来度量分异因子 X 在多大程度上解释了变量 Y 的空间分异。

$$q=1-\frac{\sum_{i=1}^{l}N_i\sigma_i^2}{N\sigma^2} \tag{9}$$

式中：i 为因变量 Y 或因子 X 的分层(类)数；N_i 和 σ_i 分别为 i 内的空间单元数和方差；N和σ 分别代表研究对象的单元数和方差。q 值∈[0, 1]，其值越大表示2个变量空间分布越一致，自变量 X 对因变量 Y 发生空间分异的解释力越强。

3 结果与分析

3.1 南北疆呈核心-边缘分异，但空间差异不显著

用式(1)计算15个地级市城镇化综合发展水平，用ArcGIS的自然断点将城镇化分为低、较低、中、较高、高5个等级，得出：

分析图1可以得出：高值中心分别分布在克拉玛依市和乌鲁木齐市、阿勒泰，低值中心分布在南疆沿边的克孜勒苏柯尔克孜自治州(简称克州)、和田地区(简称和田)及东疆，高值区范围较小，中低值区分布广，南北疆存在一定差异，核心与边缘分异较显著，2008—2018年分异形态变化不明显。表明天北经济带核心区始终是极化增长中心，南疆、东疆等沿边封闭地州城镇化水平较低，城镇体系空

注：博州指博尔塔拉蒙古自治州，克州指克孜勒苏柯尔克孜自治州，巴州指巴音郭楞蒙古自治州，伊犁州直指伊犁哈萨克自治州直属县市。该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)3333号的标准地图制作，底图无修改。下同。

图1　2008年和2018年新疆城镇化空间差异

Fig. 1　Spatial differentiation of urbanization in Xinjiang in 2008 and 2018

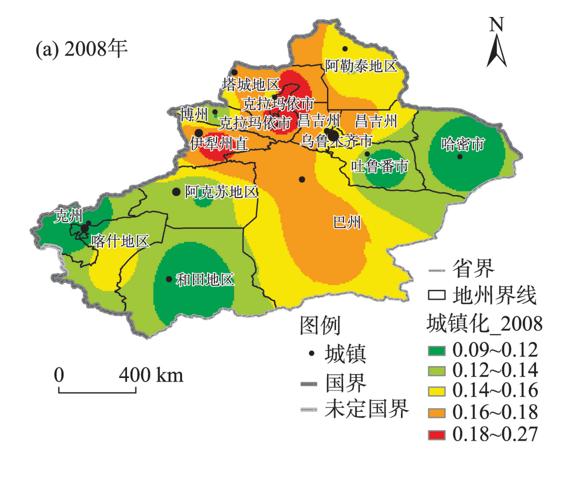
间结构相对稳定，陆桥经济、通道职能等城镇化传统职能较显著，而口岸、地缘等全球化、开放性城镇化职能不明显。

用GeoDa全局自相关分析方法各维度城镇化的空间关联性得出：经济城镇化全局莫兰指数 I 值、P 值、Z 值分别为：−0.315、0.019、2.386，在0.05置信区间通过了 Z 检验，而人口、社会、生态城镇化 Z 值均大于0.05，因此，只有经济城镇化空间分异存在显著的空间依赖性，其他要素空间结构呈随机分布状态，城镇化地域分工与协作不明显，空间依赖性和关联性不显著，需要进一步深入分析二级指标的分异特征。

3.2　空间分异格局

用ArcGIS反距离加权法对各维度城镇化进行空间差值分析，用自然断点将城镇化水平分为低、较低、中等、较高、高等级以识别城镇体系空间格局，并据此划分空间分异类型。

3.2.1　北疆城镇化水平高但分异明显，南疆城镇化水平低但结构均衡　2008年城镇化高值中心在克拉玛依市、伊犁哈萨克自治州直属县市（简称伊犁州直），低值中心在和田、克州、吐鲁番市、哈密市，高值区域聚集在亚欧大陆桥核心区，低值区域在南疆、东疆连片分布；2018年高值中心为乌鲁木齐市、阿勒泰地区（简称阿勒泰），低值中心在和田、吐鲁番市、塔城地区（简称塔城），高值范围收缩而低值区域扩大，城镇化高值中心始终在北疆，但北疆内部城镇化差异较大，城镇化低值中心始终在南疆、东疆，南疆内部城镇化分异较小（图2）。



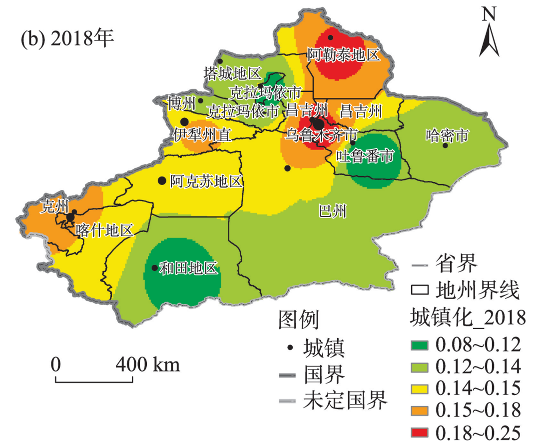


图2　2008年和2018年新疆城镇化反距离权重(IDW)插值结果

Fig. 2　IDW interpolation results of urbanization in Xinjiang in 2008 and 2018

3.2.2 人口城镇化呈核心-边缘分异显著,分异格局稳定 2008年人口城镇化高值中心在喀什地区(简称喀什)、伊犁州直及乌鲁木市,低值中心集中在和田、克州、博尔塔拉蒙古自治州(简称博州)及吐鲁番市、哈密市等西部、北部沿边地州;2018年分异格局基本不变,乌鲁木齐市及南疆各地州增长较快。表明新疆人口城镇化核心与边缘分异明显;喀什、伊犁州直、乌鲁木齐市"一带一路"沿线城镇始终是高值中心,而西部、北部沿边地州低值连片,近10 a空间结构变化不大,核心-边缘分异稳定。

3.2.3 南北疆社会、经济城镇化分异明显,空间差异趋向减小 2008年乌鲁木齐市及巴音郭楞蒙古自治州(简称巴州)等核心区为经济城镇化高值中心,低值区集中分布在和田及其周边地区,南北疆差异显著;2018年高值区为乌鲁木齐市,低值区集中分布在和田、吐鲁番市周边,高值区范围减少而低值区范围扩大且连片分布,南北疆城镇化分异显著。

2008年社会城镇化高值中心为克拉玛依市,以此为中心向周边特别是南疆降低,在南疆形成低值中心;2018年高值中心为乌鲁木齐市、吐鲁番市及克州,低值中心为和田、巴州及伊犁州直、博州、塔城,区域差异趋向减弱。

3.2.4 城镇化发展与生态演变格局不一致 2008年新疆生态环境高值区在阿勒泰、伊犁州直、克州、和田等沿边地州,而低值中心在乌鲁木齐市、克拉玛依市、吐鲁番市、喀什,北部、西部沿边城镇生态环境明显优于"一带一路"核心区。2018年变化不大,高值区为阿勒泰、克州,低值区范围扩大且连片分布,中高值区面积收缩,城镇化水平较高的亚欧大陆桥沿线核心区低值连片,而高值区主要分布在城镇化水平较低的沿边地州,生态环境与城镇化分异格局不一致(图3)。

总体上,新疆绿色发展水平低、增长慢,各维度、各要素时空分异不显著,但南北疆核心-边缘分异格局明显。北疆城镇化绿色发展水平相对高于南疆但增长较慢、分异较大,南疆低值连片、增长较快、相对均衡,人口、经济、社会、生态城镇化发展不协调。

3.3 空间分异因子及驱动机理探测

分析空间差异及分异格局发现,新疆城镇绿色发展及其各维度功能分异均表现为较弱而稳定的空间自相关性,反映了其空间依赖性和异质性不显著,用传统的地统计分析方法很难精确识别其动力因子。进一步分析空间分异形态发现,新疆城镇化绿色发展具有明显的分层(分类)异质性,只有通过空间一致性检验才能建立良好的非线性因果统计关系。地理探测器是识别空间异质性特征的有效工具,它可以更好地分析包括线性和非线性空间关联性产生的因果关系,诊断并解决分层异质性及其产生原因等复杂性空间自相关问题[25]。

3.3.1 主导因子探测 分层异质性因子探测可定量识别影响因变量空间分层异质性的因子,并探测自变量对因变量的相对作用大小和关系强弱,从而认识空间分析的关键因子及作用规律。

为得到较好的分类(层)结果,采取经验知识、专家决策及自然断点法相结合的分类方法,对各级各类影响因子进行分类识别。首先以城镇化水平为自变量,人口城镇化、经济城镇化、社会城镇化、生态本底为因变量,探测各因子对城镇化(因变量)空间分异的解释能力、各因子作用差异及其交互作用强度等,以识别驱动因子及其作用规律。

打开Geodetector软件,将分类好的自变量读入Excel表后运行模型,得到新疆城镇化空间分异因子探测结果,见表2。

因子探测q值从大到小排序为:人口城镇化(0.549)、生态城镇化(0.427)、经济城镇化(0.400)、社会城镇化(0.061),但P值均大于0.05的置信区间,表明各因子对新疆城镇化空间分异的影响均不显著,需要进一步从二级指标探测具体分异因子及其作用关系。

用同样方法对14个二级指标进行分类(层)识别,将样本输入到地理探测器并运行计算得到新疆城镇化空间分异因子探测结果,见表3。

用分异因子探测q值得出,只有$X5$、$X9$和$X11$ 3个因子通过了95%置信度的显著性检验,与新疆城镇化空间分异关系密切,对空间分异的解释力最强,而其余指标与城镇化空间分异的关系不密切。按q值从大到小排序为:$X5$=0.928、$X9$=0.818、$X11$=0.533,人均GDP因子($X5$)的q值对城镇化空间分异的解释力高达0.928,表明经济要素是新疆城镇化绿色发展的核心驱动;人均固定资产投资($X9$)的q值达到0.818,也是衡量城镇化空间差异的重要驱动;人均受教育水平($X11$)的q值也大于0.5,其对新疆城镇化空间分异的贡献也较显著,这3个因素构成

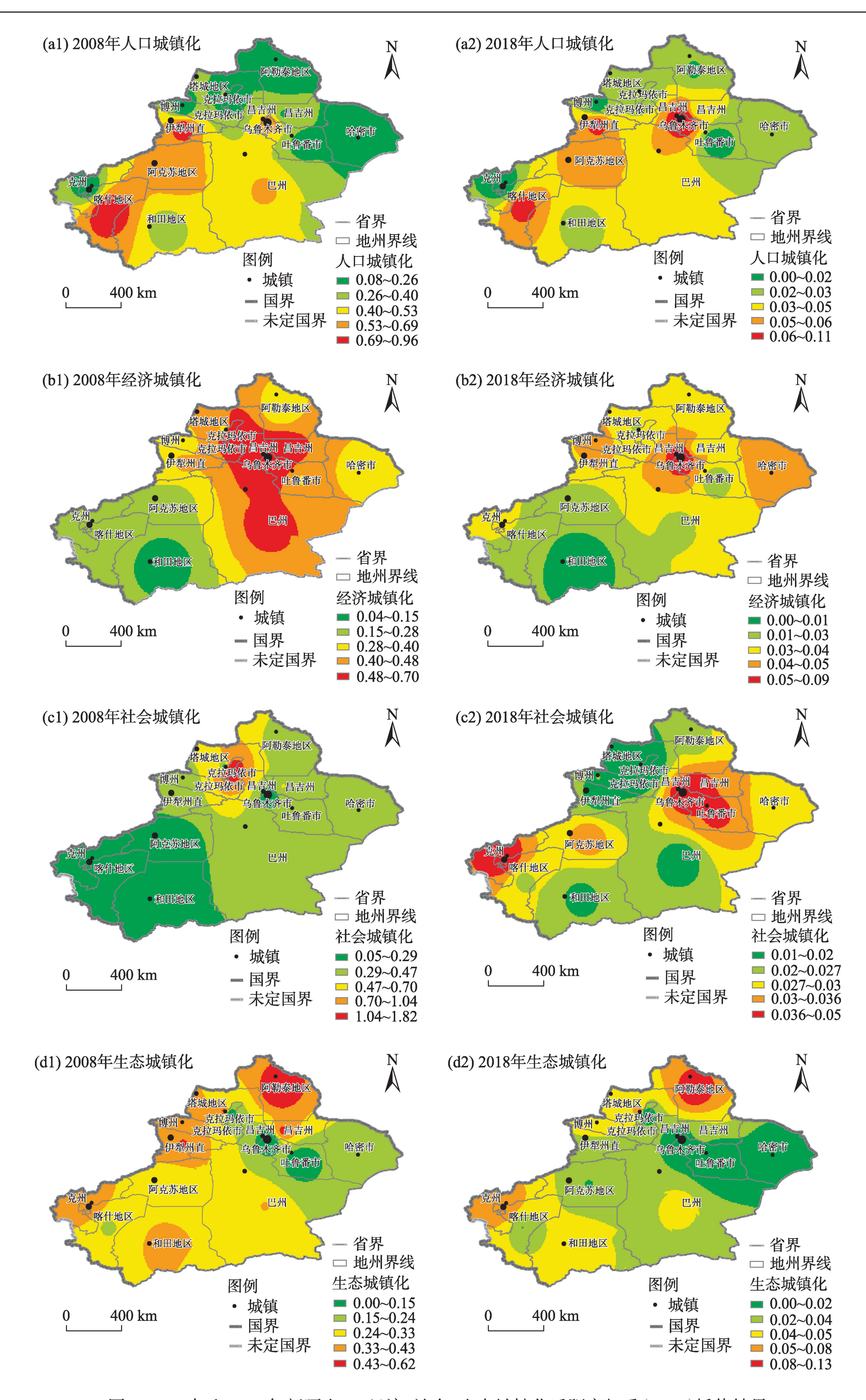


图3　2008年和2018年新疆人口、经济、社会、生态城镇化反距离权重(IDW)插值结果

Fig. 3　IDW interpolation results of population, economy, society and ecological urbanization in Xinjiang in 2008 and 2018

表2 基于分异因子的新疆城镇化空间分异因子探测结果

Tab. 2 Detection results of spatial differentiation factors of urbanization in Xinjiang based on the primary differentiation factor

驱动因子	q值	P值
人口城镇化	0.549	0.539
经济城镇化	0.400	0.716
社会城镇化	0.061	0.716
生态城镇化	0.427	0.160

表3 基于二级分异因子的新疆城镇化空间分异因子探测结果

Tab. 3 Detection results of spatial differentiation factors of urbanization in Xinjiang based on the secondary differentiation factor

驱动因子	q值	P值
$X1$	0.013	0.938
$X2$	0.157	0.760
$X3$	0.034	0.858
$X4$	0.034	0.858
$X5^*$	0.928	0.000
$X6$	0.190	0.370
$X7$	0.163	0.607
$X8$	0.007	0.970
$X9^*$	0.818	0.018
$X10$	0.115	0.792
$X11^*$	0.533	0.033
$X12$	0.195	0.531
$X13$	0.119	0.567

注：*为通过0.05显著性水平检验的变量。下同。

了新疆城镇化空间分异的主要驱动。其余因素与空间分异关系较弱。

3.3.2 交互作用探测 进一步分析各因子交互作用探测结果发现(表4)：任何两种因子对城镇化空间分异的交互作用q值均明显大于单因子独立作用，各因子交互作用以线性增强为主，其交互增强后的q值分别为0.981、0.979、0.939，双因子交互增强对新疆城镇化空间分异影响十分显著。即受教育水平、固定资产投资、人均收入对各要素变化的交互影响显著。

表4 交互作用探测结果

Tab. 4 Detection results of interaction

驱动因子	$X5$	$X9$	$X11$
$X5$	0.928	–	–
$X9$	0.939	0.818	–
$X11$	0.979	0.981	0.533

3.3.3 作用因子动态变化 分析近10 a一级、二级空间分异因子作用强度变化(q值)特征得出(表5)：从近10 a经济、社会、人口城镇化因子的作用强度均呈上升之势，其作用强度分别累计增加了238.12%、75.20%、31.02%，而生态禀赋的作用强度持续下降，其作用强度累计减弱了34.34%，占q值总额的比例由2008年的41.54%下降到2018年的14.90%。上述表明人文因素对新疆城镇化绿色空间分异的影响不断增强，而生态环境的影响则趋于减弱，经济发展对新疆城镇化空间分异的影响越来越强，其次是社会城镇化，而人口城镇化相对较弱，水土资源对新疆城镇化空间分异的影响不显著。

表5 分异因子作用强度变化趋势

Tab. 5 Variation trends of action intensity of the primary differentiation factors

年份	人口城镇化	经济城镇化	社会城镇化	生态城镇化
2008	0.104	0.295	0.077	0.338
2010	0.184	0.160	0.169	0.095
2013	0.177	0.616	0.187	0.055
2016	0.464	0.425	0.095	0.072
2018	0.136	0.998	0.136	0.222

二级分异因子q值增幅从大到小排序为：人均受教育水平、人均GDP、人均固定资产投资、人均医疗水平、人口自然增长率、人均消费品零售总额、二产比重、人均水资源等，其中人均受教育程度作用强度累计增强了19257.76%，其占q值总量的比例由2008年的0.17%提高到2018年的16.08%；其次是人均GDP增强了657.48%，占q值总量的比例由7.50%提高到27.99%；人均固定资产投资增强了320.13%，占q值总量的比例由11.92%提高到24.67%；人均医疗水平增强了316.85%，占q值总量的比例由2.87%提高到5.88%。而城镇人口密度、人均耕地面积、三产比重、地州人口密度、人均进出口总值等因子q值趋于减弱，其中人均进出口总值累计减弱了95.49%，其占q值总量的比例由9.26%降低到0.21%；其次是地州人口密度减弱了88.91%、三产比重减弱了52.04%、人均耕地面积减弱了41.01%，其占q值总量的比例分别由7.30%降低到0.40%、20.77%降低到4.90%、12.39%降低到3.60%(表6)。

表6 二级分异因子作用强度变化趋势

Tab. 6 Variation trends of action intensity of the secondary differentiation factors

驱动因子	2008年	2010年	2013年	2016年	2018年	累计增长/%
*X*1	0.119	0.058	0.072	0.033	0.013	−88.912
*X*2	0.257	0.066	0.087	0.001	0.157	−38.753
*X*4	0.015	0.073	0.520	0.363	0.034	118.845
*X*5	0.123	0.653	0.635	0.690	0.928	657.482
*X*6	0.100	0.107	0.258	0.041	0.190	88.985
*X*7	0.339	0.099	0.072	0.178	0.163	−52.042
*X*8	0.151	0.016	0.843	0.892	0.007	−95.490
*X*9	0.195	0.002	0.607	0.404	0.818	320.134
*X*10	0.053	0.258	0.731	0.880	0.115	117.941
*X*11	0.003	0.419	0.363	0.386	0.533	19257.761
*X*12	0.047	0.340	0.212	0.192	0.195	316.846
*X*13	0.202	0.193	0.020	0.021	0.119	−41.014
*X*14	0.029	0.330	0.216	0.044	0.043	49.336

上述表明教育、医疗等社会化水平及经济发展质量、吸引投资水平等因子对新疆城镇化空间分异的作用趋强，而对外经贸、城镇人口规模、产业结构水平等的作用趋弱。

3.3.4 驱动机制探测

（1）一级分异因子中人口、生态城镇化作用相对较强，城镇人口规模及生态禀赋对城镇化绿色发展影响大于经济增长，社会城镇化作用明显偏弱；随着改革开放和现代化进程的推进，经济、社会功能增强更趋显著，城镇化时空分异的均质性、同构化特征渐强。

（2）人均GDP是新疆城镇化空间分异的核心驱动，发展城市经济，提高工业化水平和高附加值产能，仍是推进新疆城镇化空间发展的最重要因素；其次，不断扩大投资规模和提高投资效益，持续提高新疆教育文化医疗水平，也是提高城镇化水平的有效途径。从变化趋势分析，文化教育、医疗卫生等公共服务对新疆城镇化空间分异的影响增强最显著，应着力加快新疆基础设施建设水平，扩大公共服务均衡化布局；提高经济发展质量、扩大投资规模是合理布局城镇体系空间结构的有效手段。而对外经济贸易、城镇人口规模、产业结构水平等对城镇化空间分异的影响趋向降低，经济全球化和区域一体化、城镇规模集聚和产业结构升级等高级分异因素，对新疆城镇化空间分异的作用并不显著。

4 结 论

基于综合发展和区域均衡理论设计了城镇化绿色发展评价模式，用时空分析方法从综合及各维度、各要素3个尺度研究了新疆城镇化绿色发展时空分异规律，得出以下结论：

（1）“一带一路”沿线核心区与沿边地州的发展差异相对明显，城镇化绿色发展呈核心–边缘分异格局。北疆城镇化水平较高、空间分异显著，但近10 a城镇化发展趋缓，与南疆差异趋于缩小；而南疆城镇化水平较低、空间差异小，但近年增势明显，域内差异趋向缩小。

（2）人口、经济、社会、生态城镇化发展不协调。其中南疆人口城镇化发展好于北疆，一带一路沿线的乌鲁木齐、伊犁州直、喀什等城镇始终是高值中心，空间结构稳定；北疆经济城镇化好于南疆，低值中心始终在南疆，近10 a中、低值区范围扩大，空间差异趋于收敛；社会城镇化变化最大、增速最快，分异格局不稳定；城镇化发展与生态分异不一致，城镇化高值区生态环境低值连片，而城镇化低值区生态环境高值集聚。

（3）人均GDP、人均固定资产投资、人均受教育水平是新疆城镇化绿色发展的核心驱动，其他因子与空间分异关系相对较弱，而受教育水平、固定资产投资、人均收入对各要素变化的交互作用最明显，空间溢出效益最显著。近10 a经济发展对新疆

城镇化空间分异的作用趋强，其次是社会城镇化，生态要素影响不显著；教育、医疗、经济发展质量、吸引投资水平等因子的作用增长显著，对外经贸、人口规模、产业结构等因子的影响不断减弱。

因此，应抓住"一带一路"核心区建设历史机遇，坚持以人为本、生态优先、均衡协调的绿色发展理念，在打牢生态基础、构建和谐城镇上下功夫，推进城镇人口、社会、经济、生态的功能耦合、协调发展、均衡布局，不断提高基础设施建设和公共服务保障水平，整体优化城镇化地域功能及空间结构，系统提升要素投入及经济增长的绿色发展效率。

参考文献（References）

[1] 刘杨, 杨建梁, 梁媛, 等. 中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征[J]. 经济地理, 2019, 39(2): 110-117. [Liu Yang, Yang Jianliang, Liang Yuan, et al. The green development efficiency and equilibrium features of urban agglomerations in China[J]. Economic Geography, 2019, 39(2): 110-117.]

[2] 陈明星, 龚颖华. 城镇化系列咨询研究进展与影响[J]. 地理研究, 2016, 35(11): 2015-2024. [Chen Mingxing, Gong Yinghua. Research progress and influence of series of consulting reports of urbanization[J]. Geographical Research, 2016, 35(11): 2015-2024.]

[3] 方创琳, 毛汉英, 叶大年, 等. 中国城市发展空间格局优化理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2016. [Fang Chuanglin, Mao Hanying, Ye Danian, et al. The theory and method of optimizing the space pattern of urban development in China[M]. Beijing: Science Press, 2016.]

[4] Pearce D W, Markandy A A, Barbier E. Blueprint for a green economy[M]. London: Routledge, 1989.

[5] Allenby B R, Richards D J. The greening of industrial ecosystem [M]. Washington, DC: National Academy Press, 1994.

[6] Hall C R. Making cents of green industry economics[J]. Hort Technology, 2010, 20(5): 832-835.

[7] Haq A N, Aerath K, Mathiyazhangan K. Study of mutual influence drivers in the Indian plastic industry for green supply chain management using interpretive structural modelling[J]. International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling, 2017, 9(1): 42-65.

[8] Wang H J, Shi B. Model and application of green industry evaluation based on fuzzy control[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy System, 2015, 29(6): 2489-2494.

[9] Perez M, Palma M, Behe B, et al. Structural breaks and future growth of the green industry[J]. Journal of Environmental Horticulture, 2016, 34(2): 52-55.

[10] Peza A K, Islam M S, Shimu A A. Green industry in Bangladesh: An overview[J]. Environmental Management and Sustainable Development, 2017, 6(2): 124-143.

[11] 方创琳. 中国城市发展空间格局优化的总体目标与战略重点[J]. 城市发展研究, 2016, 23(10): 1-10. [Fang Chuanglin. Goal orientation and strategic focus of China's urban development spatial structure optimization[J]. Urban Development Studies, 2016, 23(10): 1-10.]

[12] 刘小瑜, 余海华. 中国省际绿色发展的空间关联及溢出效应[J]. 江西财经大学学报, 2020(3): 14-25. [Liu Xiaoyu, Yu Haihua. Spatial correlation and spillover effect of China's inter-provincial green development[J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics, 2020(3): 14-25.]

[13] 季永月, 张丽君, 秦耀辰, 等. 中国地级及以上城市"四化"水平对绿色发展的空间计量分析[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 184-195. [Ji Yongyue, Zhang Lijun, Qin Yaochen, et al. The impact of "Four Modernizations" on green development in Chinese prefecture-level cities: A spatial econometric analysis[J]. Economic Geography, 2020, 40(4): 184-195.]

[14] Li K, Song M L. Green development performance in China: A metafrontier non-radial approach[J]. Sustainability, 2016, 3(8): 219-239.

[15] Feng C, Wang M, Liu G C, et al. Green development performance and its influencing factors: A global perspective[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 144: 323-333.

[16] Lin B Q, Benjamin N I. Green development determinants in China: A non-radial quantile outlook[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 162: 764-775.

[17] 赵领娣, 袁田, 赵志博. 城镇化对绿色发展绩效的门槛效应研究——以大西北、黄河中游两大经济区城市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(9): 10-16. [Zhao Lingdi, Yuan Tian, Zhao Zhibo. Threshold effect between urbanization and green development performance[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(9): 10-16.]

[18] 郑强. 城镇化对绿色全要素生产率的影响——基于公共支出门槛效应的分析[J]. 城市问题, 2018(3): 48-56. [Zheng Qiang. The influence of urbanization on green total factor productivity: An analysis based on the threshold effect of public excenditure[J]. Urban Problems, 2018(3): 48-56.]

[19] 王兵, 唐文狮, 吴延瑞, 等. 城镇化提高中国绿色发展效率了吗?[J]. 经济评论, 2014(4): 38-49, 107. [Wang Bing, Tang Wenshi, Wu Yanrui, et al. Does urbanization increase China's green development efficiency?[J]. Economic Review, 2014(4): 38-49, 107.]

[20] 张国俊, 邓毛颖, 姚洋洋, 等. 广东省产业绿色发展的空间格局及影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1593-1605. [Zhang Guojun, Deng Maoying, Yao Yangyang, et al. Comprehensive level of the green development of industry in Guangdong Province and spatial ecometric analysis of the influencing factors[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(8): 1593-1605.]

[21] 董锁成, 史丹, 李富佳, 等. 中部地区资源环境、经济与城镇化形

势与绿色崛起战略研究[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 33-42. [Dong Suocheng, Shi Dan, Li Fujia. et al. Study on the resource environment, economy and urbanization situation and green rise strategy in central China[J]. Resources Science, 2019, 41(1): 33-42.]

[22] 乔标, 方创琳, 李铭. 干旱区城市化与生态环境交互胁迫过程研究进展及展望[J]. 地理科学进展, 2005, 24(6): 31-41. [Qiao Biao, Fang Chuanglin, Li Ming. Progress and prospect of study on interactive coercing process between urbanization and eco-environment in arid area[J]. Progress in Geography, 2005, 24(6): 31-41.]

[23] 陆大道, 王铮, 封志明, 等. 关于"胡焕庸线能否突破"的学术争鸣[J]. 地理研究, 2016, 35(5): 805-824. [Lu Dadao, Wang Zheng, Feng Zhiming, et al. Academic debates on Hu Huanyong population line[J]. Geographical Research, 2016, 35(5): 805-824.]

[24] 陈曦. 中国干旱区自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 2010. [Chen Xi. Physical geography of arid land in China[M]. Beijing: Science Press, 2010.]

[25] 刘海猛, 方创琳, 毛汉英, 等. 基于复杂性科学的绿洲城镇化演进理论探讨[J]. 地理研究, 2016, 35(2): 242-255. [Liu Haimeng, Fang Chuanglin, Mao Hanying. et al. Mechanism of oasis urbanization: A theoretical framework based on complexity theory[J]. Geographical Research, 2016, 35(2): 242-255.]

[26] 朱兵, 张小雷, 雷军, 等. 西部欠发达地区城镇体系分形研究——以兰州—西宁城镇密集区为例[J]. 干旱区研究, 2010, 27(3): 458-466. [Zhu Bing, Zhang Xiaolei, Lei Jun, et al. Fractal study on urban systems in the underdeveloped regions in west China: A case study in the Lanzhou-Xining town compact region[J]. Arid Zone Research, 2010, 27(3): 458-466.]

[27] 方创琳, 高倩, 张小雷, 等. 城市群扩展的时空演化特征及对生态环境的影响——以天山北坡城市群为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(9): 1413-1424. [Fang Chuanglin, Gao Qian, Zhang Xiaolei, et al. The influence of space and temporal evolution characteristics on urban agglomeration expanson to ecological environment: A case study in the Tianshan north slope city agglomeration [J]. Scientia Sinica (Terrae), 2019, 49(9): 1413-1424.]

[28] 宋周莺, 虞洋. 中国边境地区的城镇化可持续发展态势[J]. 经济地理, 2019, 39(5): 55-65. [Song Zhouying, Yu Yang. Urbanization sustainable development trend of urbanization in the border areas of China[J]. Economic Geography, 2019, 39(5): 55-65.]

[29] 唐霞, 张志强. 基于文献计量的绿洲研究发展态势分析[J]. 生态学报, 2016, 36(10): 3115-3122. [Tang Xia, Zhang Zhiqiang. A bibliometrical analysis of oasis research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(10): 3115-3122.]

[30] 钱大文, 巩杰, 贾珍珍. 绿洲化-荒漠化土地时空格局变化对比研究——以黑河中游临泽县为例[J]. 干旱区地理, 2016, 33(1): 80-88. [Qian Dawen, Gong Jie, Jia Zhenzhen. Analysis on the spatio-temporal evolution of oasis formation and desertification: A case study of Linze County in the middle reaches of Heihe River Gansu[J]. Arid Land Geography, 2016, 33(1): 80-88.]

[31] 赵文智, 杨荣, 刘冰, 等. 中国绿洲化及其研究进展[J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 1-4. [Zhao Wenzhi, Yang Rong, Liu Bing, et al. Oasification of northwestern China: A review[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(1): 1-4.]

[32] 王长建, 张小雷, 杜宏茹. 近30 a新疆城市化与生态环境互动关系的动态计量分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(6): 1794-1802. [Wang Changjian, Zhang Xiaolei, Du Hongru. Quantitative analysis of the dynamic relationship between urbanzation level and eco-environment quantity in Xinjiang, China[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(6): 1794-1802.]

[33] 张亚如, 张军民. 城镇化与经济发展的时空相互作用机制研究——以新疆为例[J]. 干旱区地理, 2020, 43(3): 839-848. [Zhang Yaru, Zhang Junmin. Spatio-temporel interaction mechanism of urbanization and economic development: A case of Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(3): 839-848.]

[34] 马玉香, 张军民, 王莉红. 基于分形理论的新疆城市规模分布及异速生长特征研究[J]. 干旱区地理, 2018, 41(3): 661-667. [Ma Yuxiang, Zhang Junmin, Wang Lihong. City-size distribution and allometric growth in Xinjiang based on fractal theory[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(3): 661-667.]

[35] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jingfeng, Xu Chengdong. Geographic detectors: Principles and prospects[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.]

Spatial and temporal differences and driving factors of the green development of urbanization in Xinjiang

ZHANG Junmin[1], RONG Cheng[1], MA Yuxiang[2]

(1. College of Environment and Resources, Guangxi Normal University, Guilin 541000, Guangxi, China;
2. College of Science, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

Abstract: As the key point of western development and the core area of "The Belt and Road" urbanization in Xinjiang, China has distinct regional characteristics and geographic attributes. Scientific diagnosis and identification of driving factors for green urbanization can provide empirical evidence for overall border development and security planning. According to the theory of green development and spatial structure, using entropy method, geostatistical analysis, and exploratory spatial analysis method, based on the ArcGIS spatial analysis platform, the spatial and temporal differentiation pattern of urbanization green development in 14 prefectures (cities) in Xinjiang of China in 2008—2018 has been studied. The mentioned conclusions have been reached: (1) Xinjiang's urbanization is characterized by a lack of green development, slow growth, and a lack of spatial dependence and heterogeneity. Furthermore, there is significant core-periphery differentiation between southern and northern Xinjiang, and the development of population, economy, society, and ecological urbanization is not coordinated. The localized and introverted functions of land bridges and resources are more prominent, while the geopolitical functions such as globalization and openness of ports and passages are not obvious. (2) The scale of urban population and ecological endowments are more important in the temporal and spatial differentiation of urbanization green development than economic growth, and social urbanization is lower; moreover, the economic and social functions have increased significantly, and the homogeneity and isomorphism of the temporal and spatial differentiation of urbanization are becoming stronger. (3) The GDP per capita is the core driver of the temporal and spatial differentiation of green development, and quality and efficiency are the most important driving force for the green development of Xinjiang's urbanization; investment scale and benefits, education, culture, and medical construction are effective ways of green development. Foreign trade, population agglomeration, and structural upgrading, on the other hand, are weak and growing slowly. The government should concentrate on developing new production capacity and new impetus for green urbanization, actively participating in global and regional economic and trade cooperation, accelerating integration into the domestic and international dual cycle, and improving infrastructure and public service guarantees.

Key words: green development; temporal and spatial differentiation; driving factors; geographic detectors; northern and southern Xinjiang